

**ХАФИЗОВ ЭДУАРД РАДИКОВИЧ**

**АСФАЛЬТОБЕТОН НА БИТУМ-ПОЛИМЕРНЫХ ВЯЖУЩИХ**

Специальность 05.23.05 - Строительные материалы и изделия

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Казань - 2003

Диссертация выполнена на кафедре автомобильных дорог Казанской государственной архитектурно-строительной академии.

Научный руководитель: - доктор технических наук, профессор  
Заслуженный строитель и деятель науки РТ  
А.И. Брехман

Научный консультант: - доктор технических наук, профессор  
Заслуженный деятель науки РФ и РТ  
В.Г. Хозин

Официальные оппоненты: - член-корр. РААСН,  
доктор технических наук, профессор  
Заслуженный деятель науки РФ  
Р.З. Рахимов

- кандидат технических наук, профессор  
Н.В. Быстрое

Ведущая организация: - Проектное ремонтно-строительное  
объединение «Татавтодор»

Защита состоится 10 декабря 2003 г. в 14 ч. на заседании  
диссертационного совета К 212.077.01 в корпусе В ауд. 209 Казанской  
государственной архитектурно-строительной академии по адресу:  
420043, г. Казань, ул. Зеленая, д.1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанской  
государственной архитектурно-строительной академии.

Автореферат разослан 6 ноября 2003 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



А.М. Сулейманов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Одним из ключевых направлений повышения качества и эффективности работ по строительству и ремонту дорожных асфальтобетонных покрытий является повышение качества дорожных битумов.

Однако качество дорожных покрытий до сих пор является актуальным для России. Обычно асфальтобетонные покрытия на основе битума не способны обеспечить в условиях современного грузонапряженного и интенсивного движения требуемых физико-механических свойств покрытий и их долговечность. Низкая эластичность, недостаточные показатели трещиностойкости и температурного интервала работоспособности ограничивают применение изделий из них в жаркий летний период и зимой, особенно в районах с резко континентальным климатом. Это основные недостатки, по которым битум не выдерживает предъявленных к нему требований. Одним из основных способов повышения сроков службы асфальтобетонных покрытий в силу физической природы и структурных особенностей асфальтобетона является изменение структуры и свойств органических вяжущих материалов, используемых для его приготовления.

Наиболее перспективным направлением является модификация битумов полимерами. В настоящее время наибольший интерес вызывает применение полимеров класса термоэластопластов (ТЭП), например, блоксополимеров бутадиена и стирола типа СБС, так как они сочетают в себе необходимые преимущества по сравнению с полимерами других классов. ТЭП придают органическому вяжущему не только повышенную эластичность, но и расширяют температурный интервал работоспособности. Снижают остаточную деформацию, что дает возможность использования в дорожном строительстве битумов с высокой пенетрацией. Однако синтетические ТЭП, как модификаторы битумов, не лишены недостатков — битум-полимерные вяжущие (БПВ) на их основе не устойчивы к окислительному воздействию кислорода воздуха, а, следовательно, дорожные покрытия на их основе не обладают высокой долговечностью. В связи с этим разработка новых составов БПВ полифункционального действия для асфальтобетонов, используемых в верхних слоях дорожного покрытия, представляется актуальной задачей.

**Цель работы.** Разработка высококачественного асфальтобетона с применением нефтяных дорожных битумов модифицированных смесевым термоэластопластом.

**Для достижения поставленной цели были сформулированы задачи:**

- исследовать влияние добавки смесевого ТЭП на основные свойства дорожного битума и определить их оптимальные соотношения;
- исследовать изменения структурно-динамических свойств битума при его модифицировании смесевым ТЭП;
- разработать технологию приготовления БПВ;

- исследовать физико-механические свойства асфальтобетона с применением модифицированного битума;
- дать экономическую оценку эффективности асфальтобетона на модифицированном вяжущем.

### **Научная новизна работы:**

- установлено, что введение в состав битума смесового ТЭП существенно улучшает его эксплуатационно-технические показатели: повышает теплостойкость, эластичность и морозостойкость;

- методом оптической микроскопии выявлен характер распределения смесового ТЭП в битуме при 25°C. Установлено, что с ростом концентрации смесового ТЭП от 1,5 до 3% глобулярные частицы набухшего полимера превращаются в непрерывную сетчатую структуру, пронизывающую битумную матрицу. Методом ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) выявлено, что смесовой ТЭП существенно затормаживает молекулярную подвижность битума, обеспечивая рост теплостойкости;

- установлено, что введение добавки катионактивных ПАВ в БПВ с применением смесового ТЭП приводит к повышению показателя сцепления вяжущего с минеральными материалами кислых и основных пород.

- установлено, что добавки смесового ТЭП улучшают показатели физико-механических свойств асфальтобетона, превосходя аналогичные показатели свойств асфальтобетона с применением исходного битума и БПВ с дивинил-стирольным термоэластопластом (ДСТ).

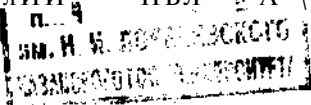
Практическая ценность состоит:

- в разработке БПВ для асфальтобетона и технологии их получения с применением смесового ТЭП для верхних слоев дорожных покрытий;
- в практическом апробировании асфальтобетона с применением модифицированного битума.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на ежегодных научно-технических конференциях КазГАСА, Казань (2000-2003 г.г.); на II Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера», г. Казань, КГТУ им. А.Н. Туполева (2001 г.); на IV научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Республики Татарстан, г. Казань (2001 г.); на III Молодежной научно-практической конференции студентов и аспирантов, г. Казань (2001 г.); на XXXП Всероссийской научно-технической конференции, г. Пенза, ПГАСА (2003 г.); на III Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера», г. Казань, КГТУ им. А.Н. Туполева (2003 г.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы изложены в 9 печатных работах.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, выводов, списка использованных источников из 145 наименований и приложений. Работа содержит 177 страниц основного текста, 22 таблицы, 51 рисунок, 2 приложения.



## Содержание работы

**В первой главе** приведен обзор отечественной и зарубежной литературы, посвященный битум-полимерным материалам, нашедшим наибольшее развитие в строительстве дорожных покрытий.

Большой вклад в разработку теории и способов модификации битумов добавками полимеров внесли А.И. Лысихина, Г.И. Горшенина, Н.В. Горелышев, Л.М. Гохман, С.Н. Попченко, А.М. Кисина, В.А. Золотарев, В.А. Захаров, В.П. Лаврухин, Л.Б. Гезенцвей, Н.В. Стабников, Г.А. Бонченко, А.П. Платонов, Д.А. Розенталь, В.Г. Хозин, Томпсон, Хойберг, Эссер и др.

Показано, что основная цель модификации битумов - расширение температурного интервала работоспособности битума, придание ему эластических свойств и стабильности во времени.

На основании литературного обзора сформулированы основные пути повышения качества асфальтобетона с применением модифицированных битумов. Решение этих задач сводится к разработке новых составов полифункционального действия и совершенствованию технологии строительства дорожных одежд с применением полимерных добавок.

Среди существующих классов полимеров, наиболее эффективными модификаторами битумов являются синтетические ТЭП, а именно дивинилстирольные (ДСТ) и стирол-бутадиен-стирольные (СБС).

В основу работы положена рабочая гипотеза, которая состоит в том, что получение долговечных дорожных органических вяжущих с высокими эксплуатационными характеристиками достигается вследствие введения в битум смесового ТЭП, способствующего образованию сопряженного эластичного асфальтено-полимерного каркаса в дисперсионной среде битума и придающего дорожному вяжущему повышенную деформативность в широком интервале эксплуатационных температур.

**Во второй главе** приведены теоретические представления о процессах, протекающих в системе «битум-термоэластопласт» и влияние битум-полимерных вяжущих (БПВ) на процессы структурообразования в асфальтобетоне.

Показано, что необходимым условием для создания долговечных БПВ является хорошая совместимость полимеров с битумами, т. е. растворимость. Соблюдение этого условия позволяет существенно улучшить структуру и свойства БПВ, регулируя их направленно. Безусловно, большую роль в этом играет групповой состав дисперсионной среды битума и структура битума.

В настоящее время оптимальной считается структура БПВ, в которой полимер при определенном содержании в системе образует пространственные сетки. Для образования пространственной сопряженной структуры полимера в битуме большое значение имеет то, как распределяются макромолекулы, и как они взаимодействуют с коагуляционным каркасом из асфальтенов.

Наличие сопряженного пространственного асфальтено-полимерного каркаса в дисперсионной среде БПВ обуславливает его меньшую температурную чувствительность, т. е. будет способствовать повышенной деформативной и динамической устойчивости асфальтобетона в области отрицательных температур и, одновременно, большую прочность при высоких положительных температурах.

Большую роль играет толщина «жидкой» фазы между твердыми частицами. Для того чтобы битум мог выполнять свою роль в асфальтобетоне он должен быть равномерно распределен в минеральном материале, и возможно более полно покрывать минеральные частицы.

В третьей главе приведены характеристики материалов и основные методы исследований.

В работе использованы нефтяные дорожные битумы марок БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200 производства ОАО «Санбит» р. Татарстан.

Для модификации битумов применен смесевой ТЭП, представляющий собой тонкодисперсную механическую смесь на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД), этилен-пропиленового каучука тройного (СКЭПТ), изопренового каучука (СКИ-3). Технология получения разработана на кафедре «Технологии производства эластомеров» КазГТУ под руководством проф. С.И. Вольфсона (смешение в резиносмесителе при температуре 150-180°C).

Для улучшения сцепления БПВ с минеральными материалами применяли адгезионные присадки БП-3 и БП-КСП.

Исследования проводились с применением асфальтобетонных смесей согласно ГОСТ 9128-97.

В качестве минеральных заполнителей при приготовлении асфальтобетонных смесей (АБС) использовались гранитный щебень марки по дробимости 1000, гранитные высевки Новосмоленского месторождения, песок речной с модулем крупности 1,25 Камского месторождения, известняковый минеральный порошок.

Для исследования структуры и свойств ПБВ использовались методы оптической микроскопии, ядерно-магнитного резонанса (ЯМР), стандартные методы испытаний битума по ГОСТ 22245-90.

Сцепление органических вяжущих с минеральными материалами оценивалось как визуально по ГОСТ 11508-74, так и количественно так называемым методом адгезионной способности битума.

Микроструктуру БПВ изучали и фотографировали на микроскопе МИМ-7 в соответствии с ГОСТ 22023-76.

Измерения времен поперечной релаксации  $T_g$  проводились методами спада свободной индукции (ССИ) на лабораторных спектрометрах ядерного магнитного резонанса. При измерениях использовалось цифровое накопление сигнала.

Для исследования физико-механических характеристик асфальтобетона использовались стандартные методы испытаний по ГОСТ 12801-98. При

этом для сравнения испытывались асфальтобетонные смеси, приготовленные на БПВ с применением ДСТ.

Исследования вязкости асфальтобетона проводились методом сжатия цилиндрических образцов при различных температурах под воздействием нагрузки 3 мм/мин. Расчет вязкости осуществлялся по формуле А.М. Богуславского.

**В четвертой главе** дано обоснование выбора компонентов модификатора. Определены оптимальные режимы совмещения смесового ТЭП с битумом. Изучена степень влияния содержания модификатора на свойства БПВ. Методами оптической микроскопии и ЯМР исследованы структура БПВ с различным содержанием смесового ТЭП.

Основными предпосылками выбора полимерных компонентов для получения эффективных модификаторов битума, явились следующие: ПЭВД оказывает значительное влияние на теплостойкость БПВ, придает стойкость к УФ-облучению и озону, в тоже время, снижает пенетрацию и морозостойкость; СКЭПТ придает БПВ эластичность, обладает хорошей морозостойкостью; СКИ-3 повышает адгезию БПВ к минеральному заполнителю, обладает хорошей эластичностью. К тому же компоненты смесового ТЭП относятся к малополярным полимерам, что предполагает их хорошую совместимость с дорожными битумами.

Проанализировав достоинства и недостатки компонентов входящих в состав ТЭП, был принят состав со следующим содержанием термопласта и эластомеров: ПЭВД - 50%, СКЭПТ - 25%, СКИ-3 - 25%.

Первоначально отработаны оптимальные режимы совмещения смесового ТЭП с битумом. Существует множество различных технических схем производства БПВ в зарубежной и отечественной практике. Для ускорения процесса растворения и гомогенизации полимера в битуме в традиционную схему получения БПВ в качестве основного рабочего аппарата включался диспергатор - роторно-пульсационный аппарат (РПА). Технология получения БПВ (режимы приготовления: температура, время набухания и диспергирования) отрабатывались на лабораторной установке.

Установлено, что наиболее оптимальными условиями введения ТЭП в битум являются:

- температура совмещения - 160-170°C;
- время набухания ТЭП в битуме - 30-45 мин.;
- время диспергирования до полного растворения ТЭП в битуме - 20-30 мин.

Модифицирующий эффект проявляется при оценке свойств полученных БПВ стандартными методами испытаний битумов. Для сравнения, наряду со смесовым ТЭП, использовался широко применяемый в промышленности ДСТ-30.

Следует отметить, что кривые изменения пенетрации ( $P_{25}$ ,  $P_0$ ), растяжимости ( $D_{25}$ ,  $D_0$ ), температуры размягчения ( $T_p$ ), индекса пенетрации (ИП) для

битумов марок БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200 имеют одинаковый характер, а различие заключается, как правило, лишь в абсолютных значениях показателей свойств.

Введение смесового ТЭП в битум приводит к существенному повышению  $T_p$  последнего (Рис. 1). Следует также отметить линейный характер зависимости  $T_p^{\circ}C = f(C_{\text{ТЭП}})$ : чем больше концентрация ТЭП, тем выше температура размягчения вяжущего. Повышение  $T_p$  для модифицированных составов можно связать с растворимостью используемого смесового ТЭП в мальтеновой фракции битумов.

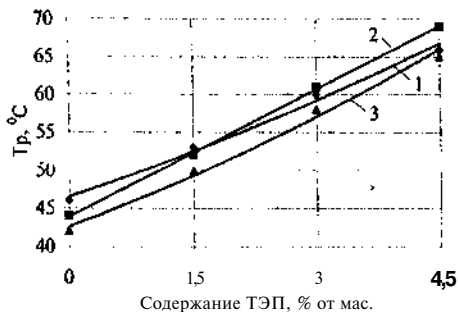


Рис. 1 Зависимость температуры размягчения битумов от содержания смесового ТЭП.

- 1-БНД 60/90;
- 2-БНД 90/130;
- 3-БНД 130/200.

Отмечено, что процесс образования пространственной структуры в БПВ связан с весьма резким снижением растяжимости вяжущего при 25°C, что свидетельствует о повышении структурированности вяжущего (Рис. 2). В данном случае разрыв имеет эластичный характер, вяжущее тянется полосой в среднем 3-5 мм, образуя так называемую «шейку» (по терминологии, принятой для полимеров). Именно такой характер разрыва показателен для эластомеров.

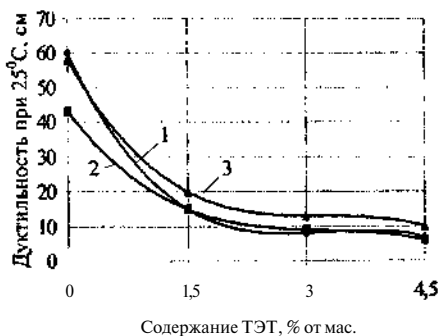


Рис. 2 Зависимость растяжимости битумов от содержания смесового ТЭП.

- 1-БНД 60/90;
- 2-БНД 90/130;
- 3-БНД 130/200.

Важно отметить, что увеличение концентрации модификаторов приводит к резкому росту условной вязкости (Рис.3). За условную вязкость, выраженную в минутах, принималось время истечения 50 мл битума через калибро-



вочное отверстие вискозиметра при температуре 90°C. Причем составы с ТЭП обладают гораздо меньшей вязкостью, по сравнению с составами с ДСТ: в частности, при 4% содержании модификаторов условная вязкость у состава с ДСТ в 3 раза превышает вязкость состава с ТЭП.

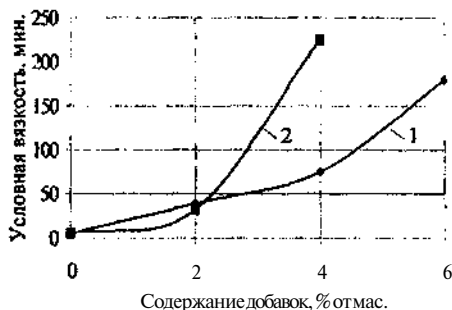


Рис. 3 Зависимость условной вязкости битума от содержания полимеров.

1-БНД90/130+ТЭП;  
2-БНД90/130+ДСТ.

Эффект модификации битума смесевым ТЭП подтверждается данными других физико-механических показателей (температуры хрупкости ( $T_{хр}$ ), пенетрации, эластичности (Э), индекса пенетрации (ИП), старения) (табл. 1).

Результаты исследований в этой части работы показали, что битумные композиции, модифицированные смесевым ТЭП, несколько уступают по эластичности и дуктильности композициям, модифицированным ДСТ, ввиду большей исходной эластичности ДСТ, по сравнению с ТЭП.

Следует отметить, что битум, модифицированный полимерами, начинает приобретать их свойства и, как отмечается рядом исследователей, стандартные методы испытаний битума не позволяют в полной мере оценить это.

На полученных с помощью микроскопии фотографиях структуры модифицированных составов с различным содержанием смесового ТЭП показано, что введение 3% модификатора приводит к образованию пространственной структурной сетки ТЭП в битуме. Дальнейшее увеличение концентрации ТЭП ведет лишь к сгущению уже сформировавшейся при 3% содержании ТЭП модифицированной структуры.

Образцы исходного битума и модифицированного битума (2-6% ТЭП), были исследованы импульсным методом ЯМР, как методом наиболее чувствительным к изменению молекулярной подвижности. Измерения проводились в диапазоне температур от 30 до 120°C.

Отмечено, что наблюдаемые спады амплитуд ССИ (спада свободной индукции) носят неэкспоненциальный характер. С ростом температуры до 120°C влияние малых добавок ТЭП становится все более заметным, различие между ССИ для разных образцов все более сильным, далеко выходящим за пределы погрешности измерений.

Таблица 1

Показатели физико-механических свойств полимерно-битумных  
вяжущих.

Состав	$T_{\text{об}},$ °C	ИП	Дуктиль- ность, см		Пенетра- ция, дмм		$T_{\text{хр}},$ °C	$\eta,$ % при 25°C	$\Delta T_{\text{р}}$ после про- грева при 163°C
			25°C	0°C	25°C	0°C			
БНД 90/130	44	-1,0	43	4,6	107	37	-24,4	7	3
ПБВ (2 % ТЭП)	55	+ 1,0	13	4,6	76	36	-24,9	78	2
ПБВ (4 % ТЭП)	66	+3,0	7,3	4,3	68	33	-27,0	73	2
ПБВ (6 % ТЭП)	78	+4,6	5,3	3,0	60	30	-28,5	52	1
ПБВ (2% ДСТ)	60	+ 1,6	28	9,4	67	30	-23,1	90	3
ПБВ (4 % ДСТ)	75	+3,5	31	13,5	50	28	-27,5	92	2
ПБВ (6 % ДСТ)	82	+4,2	33	14,0	38	27	-31,2	92	2

Введение небольших добавок смесового ТЭП в битум приводит к существенным изменениям наклона ССИ и величины спин-спиновой релаксации, а также к изменению населенностей быстро и медленно релаксирующих компонент. Тангенс угла наклона быстро и медленно релаксирующих компонент ССИ отличаются примерно в 5 раз. Качественно можно сделать вывод, что медленно релаксирующая компонента определяется подвижностью низкомолекулярных компонентов системы, а быстро релаксирующая - подвижностью высокомолекулярных компонентов.

На основе анализа ССИ были оценены значения времен спин-спиновой релаксации и населенности двух компонентов спада (рис. 4, 5).

Установлено, что увеличение доли смесового ТЭП приводит к укорочению времени релаксации медленно релаксирующей компоненты  $T_{2A}$ . Особенно заметно такое влияние при высоких температурах, когда подвиж-

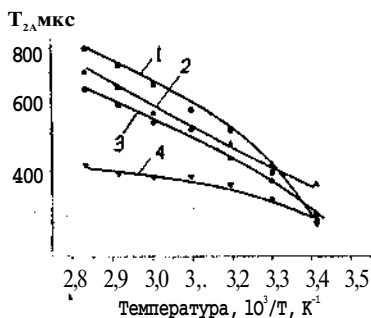


Рис. 4 Зависимость времени спин-спиновой релаксации медленно релаксирующей компоненты  $T_{2A}$  от температуры.

- 1- БНД 90/130;
- 2- БНД 90/130+2%ТЭП;
- 3- БНД 90/130+4%ТЭП;
- 4- БНД 90/130+6%ТЭП;

ность и время спин-спиновой релаксации должны возрастать. Смесевой ТЭП затормаживает развитие молекулярной подвижности низкомолекулярных компонентов. В области температур 50–60°C наблюдается излом температурных зависимостей. Местоположение этого излома, характеризующего размораживание молекулярной подвижности, оказывается существенно выше аналогичного излома для исходного битума при 44°C. Это означает, что введение смесового ТЭП приводит к повышению температуры размягчения материала (размораживания трансляционных мод движения).

На рис. 5 приведена зависимость, характеризующая релаксацию высокомолекулярных компонент в системе. Из рисунка следует, что смесовой ТЭП оказывает влияние и на высокомолекулярные компоненты в битуме, но лишь при концентрации равной 6%.

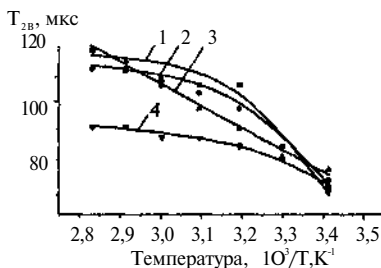


Рис. 5 Зависимость времени спин-спиновой релаксации быстро релаксирующей компоненты  $T_{2B}$  от температуры.

- 1- БНД 90/130;
- 2- БНД 90/130+2%ТЭП;
- 3- БНД 90/130+4%ТЭП;
- 4- БНД 90/130+6%ТЭП;

Из рис. 6 следует, что доля малоподвижной компоненты превышает 10–30% (по числу атомов водорода), что много выше удельного веса атомов водорода, приходящихся на молекулы, входящие в состав смесового ТЭП. Это означает, что между частицами смесового ТЭП, протоны которых дают вклад в быстро релаксирующую часть спада, и молекулами низкомолекулярных компонентов в составе битума имеется сильное межмолекулярное взаимодействие.

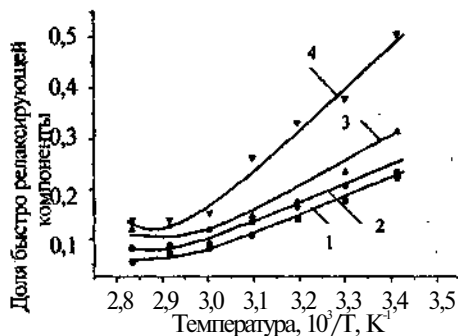


Рис. 6 Зависимость доли быстро релаксирующей компоненты от температуры.

- 1-БНД 90/130;
- 2-БНД 90/130+2%ТЭП;
- 3- БНД 90/130+4%ТЭП;
- 4-БНД 90/130+6%ТЭП;

Таким образом, данные ЯМР позволили прямым образом подтвердить мнение о том, что смесевой ТЭП существенно затормаживает молекулярную подвижность битума, обеспечивая рост теплостойкости.

Для улучшения адгезии БПВ к минеральным материалам в состав вводились поверхностно-активные вещества БП-3 и БП-КСП, способствующие образованию прочной связи модифицированного вяжущего с поверхностью минеральных материалов.

Для установления взаимосвязи содержания смесового ТЭП и ПАВ в битуме использовался контурно-графический анализ по схеме В. Клеймана. По результатам реализации двухфакторного эксперимента получены формы поверхности откликов без составления математического описания.

Отмечено, что ПАВ БП-3 и БП-КСП повышают поверхностную активность вяжущего. Весьма характерно при этом, что наиболее сильно это сказывается на песке, где при увеличении содержания смесового ТЭП до 6%, показатель сцепления повышается до 86% (смесь 4), а при увеличении содержания БП-3 до 2% показатель сцепления повышается до 80% (смесь 2) (рис. 7).

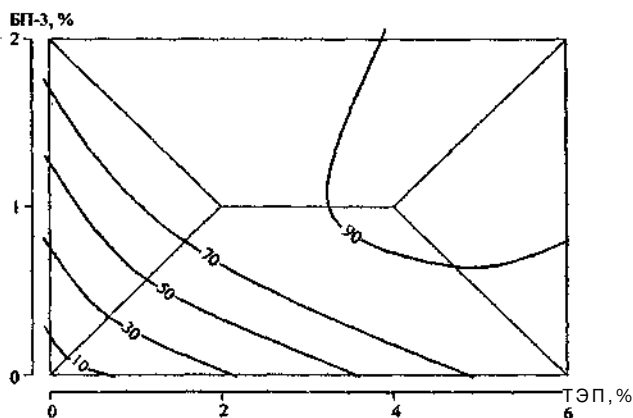


Рис. 7 Влияние содержания добавок смесового ТЭП и БП-3 на качество сцепления с песком.

Установлено, что введение ПАВ БП-3 и БП-КСП оказывает незначительное влияние на физико-механические свойства БПВ: в частности  $T_p$  снижается на 0,5-1°C, дуктильность и пенетрация практически не изменяются, повышается стойкость БПВ к старению (табл. 2).

Таким образом, анализ проведенных испытаний показал, что введение ПАВ, способствует повышению показателя сцепления БПВ с минеральными материалами кислых и основных пород и стойкости к старению, при этом

Таблица 2

Физико-механические свойства вяжущих с добавками ТЭП и ПАВ.

№ опы- тов	Содержание добавок в %		T <sub>p</sub> , °C	Дуктильность, см		Пенетрация х 0,1 мм		T <sub>хр</sub> , °C	Δ T <sub>p</sub> после прогрева при 163°C в течение 5 ч.	Сцепление, %		
	ТЭП	БП-3		25°C	0°C	25°C	0°C			мрамор	гравий	песок
1	0	0	44	43	4,6	107	37	-24,4	3	90	43	0
2	0	2	43,5	43	4,6	105	38	-25,0	1	92	72	80
3	6	2	77	6	3,0	60	33	-28,8	0	99	90	96
4	6	0	78	5,3	3,0	60	30	-28,5	1	97	88	86
5	2	1	55	13	4,6	76	36	-25,1	1	94	80	87
6	4	1	66	7,5	4,3	68	34	-27,1	0	94	83	92
	ТЭП	БП-КСП										
1	0	0	44	43	4,6	107	37	-24,4	3	90	43	0
2	0	2	42,5	47	4,9	111	40	-25,3	2	94	85	50
3	6	2	76	6	3,5	62	34	-28,9	1	98	98	97
4	6	0	78	5,3	3,0	60	30	-28,5	1	97	88	86
5	2	1	53	14	5,1	77	37	-25,1	2	90	92	78
6	4	1	65,5	8	4,5	68	34	-26,9	0	94	98	93

показатели физико-механических свойств модифицированных составов практически не изменяются.

В пятой главе приведены результаты экспериментальных исследований асфальтобетонов на модифицированном вяжущем.

Первоначально выполнен анализ влияния добавок смесового ТЭП на физико-механические показатели асфальтобетонов типов Б и Д.

Установлено, что асфальтобетон с добавкой ТЭП обладает лучшей деформативной способностью при низких температурах, что подтверждается снижением показателя предела прочности асфальтобетона при сжатии при 0°C, который характеризует жесткость многокомпонентного материала. Важно отметить, что величина прочности на сжатие для асфальтобетонов с применением БПВ при положительной температуре выше, чем при применении обычных битумов (Рис. 8).

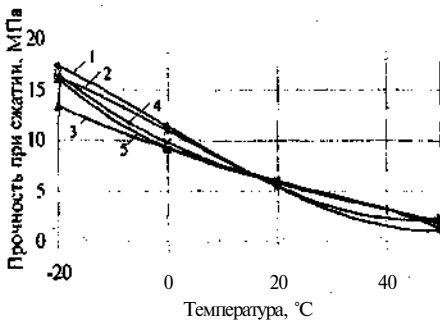


Рис. 8 Зависимость прочности на сжатие асфальтобетона типа Б от температуры.

- 1- БНД 90/130;
- 2- БНД 90/130+2%ТЭП;
- 3- БНД 90/130+4%ТЭП;
- 4- БНД 90/130+2%ДСТ;
- 5- БНД 90/130+4%ДСТ;

Водостойкость асфальтобетонов при введении добавок смесового ТЭП остается высокой в режиме водонасыщения под вакуумом. Более того, с увеличением содержания добавок смесового ТЭП (до 4%), объемное водонасыщение для мелкозернистого асфальтобетона типа Б снижается с 1,91 до 1,54%, а коэффициент водостойкости возрастает с 0,92 до 0,97, что свидетельствует о большем объеме замкнутых пор в асфальтобетоне с применением БПВ. Эффект улучшения свойств асфальтобетона подтверждается данными других физико-механических характеристик (табл. 3).

Характер изменения свойств при испытании на морозостойкость асфальтобетонных образцов, приготовленных как на модифицированном, так и на исходном битуме, одинаков. Однако интенсивность их изменения при одних и тех же циклах замораживания-оттаивания заметно снижается на 25-30%, если образцы приготовлены на модифицированном битуме (4% ТЭП) и на 35-40%, если образцы приготовлены на исходном битуме.

Установлено, что применение модифицированного битума снижает вязкость асфальтобетонов при отрицательной температуре (-20 °C), но повышает при положительной (50°C) по сравнению с асфальтобетоном на исходном битуме. (Рис. 9). Это обусловлено, по-видимому, эффектом пластификации би-

Таблица 3

## Физико-механические характеристики асфальтобетонных смесей типа Б.

№ п/п	Состав	Объем, вес, г/см <sup>3</sup>	Водона- сыщение, %	Предел прочности при сжатии, МПА				K <sub>в</sub>	K <sub>в</sub> <sup>ДП</sup>
				R <sub>0</sub>	R <sub>20</sub>	R <sub>20</sub> <sup>В</sup>	R <sub>50</sub>		
1	М/з плотная а/б смесь на битуме БНД 90/130	2,46	1,91	11,4	5,4	5,0	1,1	0,92	0,66
2	М/з плотная а/б смесь на ПБВ (БНД 90/130 + 2%ТЭП)	2,47	1,66	9,3	5,9	5,8	1,3	0,98	0,71
3	М/з плотная а/б смесь на ПБВ (БНД 90/130 + 4%ТЭП)	2,47	1,54	9,2	6,0	5,8	1,7	0,97	0,75
4	М/з плотная а/б смесь на ПБВ (БНД 90/130 + 2%ДСТ)	2,47	1,79	9,8	5,8	5,6	2,0	0,96	0,66
5	М/з плотная а/б смесь на ПБВ (БНД 90/130 + 4%ДСТ)	2,47	1,69	11,0	5,5	5,3	2,4	0,96	0,74
6	ГОСТ 9128-97 тип Б, II марка	-	1,5-4	<12,0	>2,2	-	>1,0	>0,85	>0,75

тума при отрицательной температуре и специфическим структурирующим влиянием полимерной сетки, образованной молекулами смесового ТЭП, при положительной температуре, что и определяет способность БПВ к высокоэластическим деформациям.

Отмечено, что асфальтобетон на модифицированном битуме при температуре 50°C имеет прочность на сжатие на 50%, а вязкость в 2 раза выше, по сравнению с асфальтобетоном без добавки.

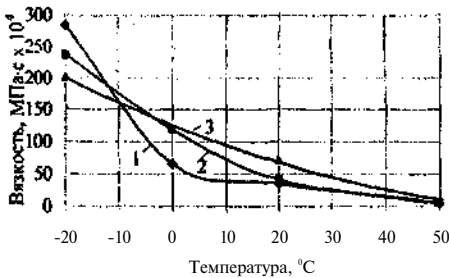


Рис. 9 Зависимость вязкости асфальтобетона от температуры.

- 1-БНД 90/130;
- 2-БНД 90/130+2%ТЭП;
- 3-БНД 90/130+4%ТЭП;

Улучшение физико-механических свойств асфальтобетонов подтверждается данными исследования пластичности. Отмечено, что с повышением содержания смесового ТЭП пластичность образцов при 50°C понижается, следовательно, повышается жесткость асфальтобетона. При температуре -20°C пластичность асфальтобетона на БПВ выше, чем у асфальтобетона на исходном битуме, т. е. является менее жестким.

Сравнительный анализ прочности на растяжение при расколе образцов, позволил сделать очень важный вывод о повышенной деформативной устойчивости асфальтобетона на модифицированном битуме, что также позволяет предположить, что он будет менее трещиностойким.

По результатам исследования уплотняемости асфальтобетонных смесей установлено, что асфальтобетонные смеси с применением БПВ характеризуются лучшей уплотняемостью. Полученные закономерности обусловлены тем, что степень разрушения структуры БПВ при деформировании в равных условиях больше, чем для исходного битума.

Анализ влияния ПАВ на физико-механические свойства асфальтобетонных смесей выполнен по контурно-графической схеме.

Установлено, что на понижение показателя водонасыщения образцов в одинаковой степени влияют как повышение содержания смесового ТЭП, так и повышение содержания БП-3. При максимальном содержании добавок смесового ТЭП и БП-3 показатель объемного водонасыщения имеет минимальное значение равное 1,46% (Рис. 10).



Иная тенденция просматривается при наблюдении за изменением коэффициента длительной водостойкости  $K_{в}^{дл}$  (рис. 11). Отмечено, что на повышение показателя  $K_{в}^{дл}$  в большей степени влияет увеличение содержания БП-3. На графике четко просматривается участок оптимальных (максимальных) значений (смесь 6), где показатель  $K_{в}^{дл}$  равен 0,95. Вводить БП-3 в смеси более 1% не следует, т.к. передозировка приводит к незначительному снижению свойств асфальтобетонов.

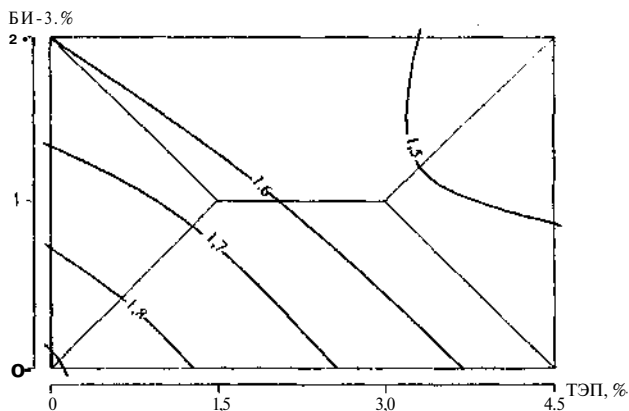


Рис. 10 Влияние добавок смесового ТЭП и ПАВ на водонасыщение образцов.

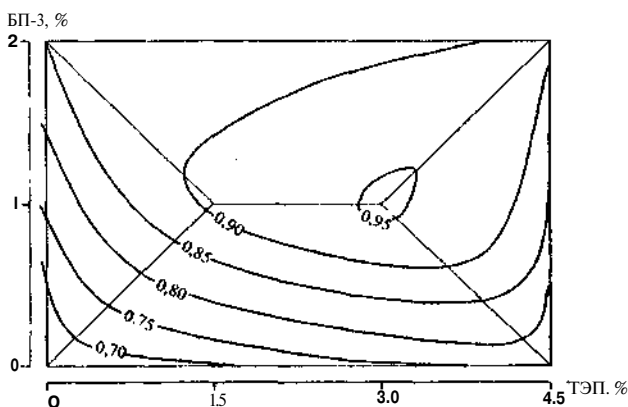


Рис. 11 Влияние содержания добавок смесового ТЭП и ПАВ на показатель длительной водостойкости асфальтобетонных образцов.

Отмечен прирост прочности образцов асфальтобетонных смесей: в частности, предел прочности на сжатие при 20°C (R20) Для асфальтобетонных смесей на исходном битуме при содержании БП-3 до 2% повышается с 5,4 до 6,0 МПа, а для асфальтобетонных смесей на БПВ с 6,7 до 6,9 МПа. Улучшение свойств асфальтобетонных смесей подтверждается данными других физико-механических показателей (R20<sup>15</sup>, R50, K<sub>н</sub>).

Сравнение эффективности асфальтобетонов на модифицированном битуме с добавкой ПАВ свидетельствует в пользу последних. При наличии в модифицированном битуме добавки БП-3 отмечена наибольшая эффективность улучшения физико-механических показателей асфальтобетонов.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют об улучшении физико-механических свойств асфальтобетонов, приготовленных с применением комплексных добавок, при условии выдерживания оптимальной концентрации в каждом конкретном случае с учетом природы и свойств, применяемых материалов и битума.

**Шестая глава** посвящена опытно-производственному внедрению результатов исследования и разработке принципиальной технологической схемы производства. Приводится описание технологической схемы получения БПВ.

**Описание принципиальной технологической схемы производства БПВ.** Существующие способы получения БПВ на большинстве асфальтобетонных заводах не приспособлены к быстрому и эффективному растворению полимеров в битуме. Наиболее удобной и надежной, по нашему мнению, является схема получения БПВ с использованием роторно-пульсационного аппарата (РПА).

Использование в качестве основного рабочего аппарата РПА позволяет получать не только однородные составы, но и быстро и качественно растворить полимер в битуме.

Принципиальная технологическая схема получения БПВ представлена на рис. 12.

Согласно представленной технологической схеме получения, БПВ готовится в следующей последовательности.

Битум, необходимый для приготовления БПВ забирается насосом Н1 из емкости 1 и подается в смеситель установки модификации битума 2.

Смеситель представляет собой аппарат, снабженный перемешивающими устройствами с двумя мешалками - лопастной и шнековой. Загрузка смесителя производится при остановленных мешалках.



Температура загружаемого в смеситель битума должна быть не ниже 160°C.

Предусматривается замер и сигнализация верхнего уровня в смесителе, а также отключение насоса Н1 по верхнему уровню битума в смесителе.

После окончания заполнения смесителя битумом, включается привод мешалки загружаемого смесителя. Для исключения влияния переходных процессов (выпуск воздуха из циркуляционного контура, стабилизации гидро- и термодинамических режимов в оборудовании) производилась циркуля-

# Технологическая схема получения ПБВ

Условные обозначения:

- 1 - емкость битума;
- 2 - смеситель установки;
- 3 - емкость готового продукта;
- РПА - роторно-пульсационный аппарат;
- Н1-Н4 - насосы;
-  - трехходовой кран;
-  - электрические обогреватели

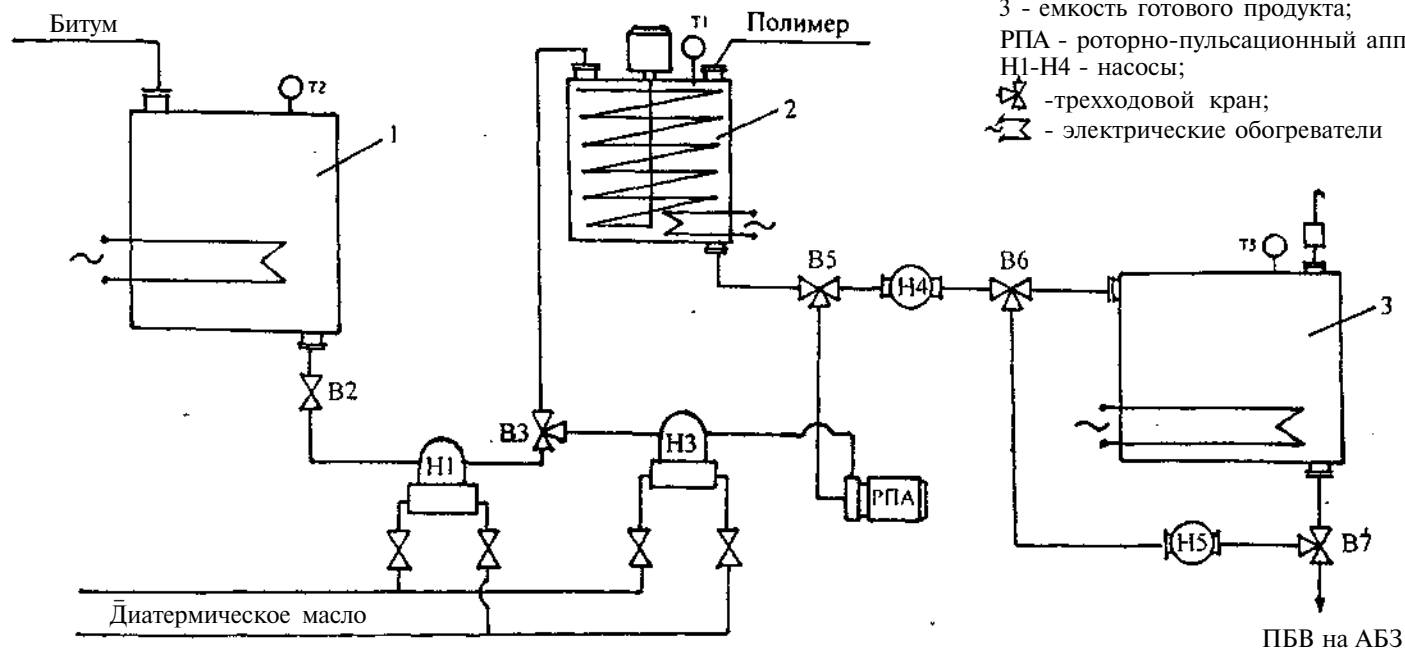


Рис. 12

**Физико-механические показатели свойств образцов (вырубок) на опытном участке.**

Показатели физико-механических свойств асфальтобетона	Показатели свойств на:					Требования ГОСТ9128-97
	июнь 2002 г.	июнь 2002 г.		июнь 2003 г.		
	опытных образцов	вырубки	переформо- ванные образцы	вырубки	переформо- ванные образцы	
Плотность, г/см³	2,43/2,41	2,40/2,39	2,43/2,40	2,42/2,39	2,43/2,40	-
Коэффициентуплотнения	-	0,99/0,98	-	0,99/0,98	-	-
Предел прочности при сжатии. МПа, при:						
0°С	9,45/11,45	-	9,51/11,60	-	9,59/12,15	не более 12,0
20°С	5,80/5,25	-	5,74/5,20	-	5,95/5,25	не менее 2,2
50°С	1,65/1,00	-	1,62/1,05	-	1,72/1,10	не менее 1,0
Водонасыщение, % по объему	1,61/2,43	1,94/3,08	1,78/2,50	2,33/3,90	1,95/3,22	1,5-4,0
Набухание, % по объему	0,00/0,00	0,03/0,10	0,01/0,03	0,08/0,35	0,02/0,28	не более 0,50
Коэффициент водостойкости	0,97/0,91	-	0,96/0,92	-	0,95/0,87	не менее 0,85

Примечание: в знаменателе приведены показатели физико-механических свойств образцов (вырубок) с использованием исходного вяжущего (битум БНД 90/130).

ция битума без подачи в него добавки полимера в течение 15-20 мин. Окончание влияния переходных процессов контролировалось по стабилизации температуры битума в емкости-смесителе 2 датчиком температуры Т1.

По завершении переходных процессов в системе РПА, из бункера в смеситель роторным питателем подавалось расчетное количество смесового ТЭП. При дальнейшей работе РПА и шестеренчатого насоса Н3 путем многократного воздействия на систему «битум-полимер» рабочих органов РПА осуществлялось скоростное диспергирование полимера и интенсивное его перемешивание с битумом. Время обработки смеси в РПА и уровни рабочих температур варьировались от опыта к опыту, до получения однородной массы. Циркуляция смеси увеличивает интенсивность перемешивания смеси и уменьшает время растворения модификатора. При перемешивании поддерживается температура смеси не ниже 160°C. Снижение температуры ниже 160°C приводит к значительному увеличению времени растворения модификатора.

По истечении времени обработки процесс получения БПВ считался законченным. Двигатели РПА и насос Н3 отключались, открывался трехходовой кран В5, включался битумонасос Н4 и готовое БПВ подавалось в приемную емкость 3. Далее процесс получения новой партии БПВ осуществлялся в аналогичном порядке.

Для создания оптимальных гидродинамических условий протекания диффузионных процессов растворения полимерной добавки в битуме, а также выравнивания концентраций полимера по объему продукта, в емкости 3 предусмотрена схема рециркуляции БПВ, осуществляемая с помощью шестеренчатого насоса Н5.

В емкости 3 предусматривается замер и блокировка верхнего уровня и замер температуры БПВ датчиком Т3. При достижении верхнего уровня в емкости, предусматривается отключение битумонасоса Н4.

Технологической схемой установки предусматривается возможность откачки насосами Н5 и Н4 некондиционного модифицированного битума из емкости готового продукта 3 в емкость смеситель 2.

Установка модификации битума может работать как в автоматическом, так и в ручном режимах.

Модифицированный битум подавался в смесительное отделение асфальтобетонного завода в соответствии с существующей схемой.

Опытное строительство асфальтобетонного покрытия с использованием БПВ осуществлялось на участке автомобильной дороги при въезде на асфальтобетонный завод.

Исследования образцов асфальтобетона, взятого после его укладки, а затем через год эксплуатации асфальтобетонного покрытия показали, что он обладает лучшими деформативными, прочностными и иными свойствами по сравнению с образцами асфальтобетона полученного без использования БПВ (табл. 4).

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Осуществлена модификация битумов дорожных марок БНД 60/90, БНД 90/130, БНД 130/200 смесевым термоэластопластом, содержащим в своем составе ПЭВД, СКЭПТ и СКИ-3 и отработаны оптимальные режимы совмещения смесового ТЭП с битумом (температура, время набухания смесового ТЭП в битуме и время диспергирования).
2. Установлено, что модификация битума смесевым ТЭП резко изменяет показатели физико-механических свойств битумов, увеличивая температурный интервал работоспособности битума, вязкость, эластичность и снижая пенетрацию и дуктильность. Содержание добавки смесового ТЭП, равное 2-4% следует считать оптимальным количеством при получении модифицированных дорожных битумов.
3. Исследованы структура и молекулярная подвижность БПВ, содержащих разное количество смесового ТЭП методами оптической микроскопии и ЯМР. Предположена схема превращения структуры БПВ от дискретно-матричной (глобулярные частицы набухшего полимера в битумной среде) к непрерывной структурной сетке полимера, пронизывающей битумную матрицу. Установлено, что введение смесового ТЭП существенно затормаживает молекулярную подвижность битума, обеспечивая рост теплостойкости.
4. Исследовано влияние БПВ на физико-механические показатели асфальтобетонов. Установлено, что свойства асфальтобетонных смесей на модифицированном битуме превосходят аналогичные показатели свойств асфальтобетонных смесей с применением исходного битума. Повышение теплостойкости и, как следствие, сдвигоустойчивости, а также морозостойкости асфальтобетона достигается вследствие введения в состав битума смесового ТЭП, способствующего образованию прочной пленки вяжущего на поверхности минерального материала.
5. Введение в БПВ добавок ПАВ показало улучшение адгезионных свойств вяжущего и асфальтобетонов на его основе, при условии соблюдения рекомендованных для них температурных режимов и выдерживания оптимальной концентрации в каждом конкретном случае с учетом природы и свойств, применяемых материалов.
6. Установлено, что высокая деформативность асфальтобетона на БПВ является прямым свидетельством того, что он изготовлен на основе вяжущего со сформировавшейся асфальтено-полимерной эластично-деформирующей структурообразующей фазой.
7. Разработана технология получения БПВ с применением смесового ТЭП. Осуществлено опытное внедрение асфальтобетона с использованием БПВ, обладающее лучшими деформативными и прочностными свойствами по сравнению с асфальтобетоном, изготовленным на исходном битуме.
8. Анализ экономической эффективности применения добавки смесового ТЭП при строительстве асфальтобетонных покрытий по результатам экспериментальных и опытно-производственных исследований показал, что эко-

номический эффект, определяется повышением сдвигоустойчивости, трещиностойкости и морозостойкости асфальтобетона, что находит свое отражение в удлинении межремонтных сроков.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Хафизов Э.Р. К вопросу о применении асфальтобетонов на модифицированном битуме. // Сборник научных трудов.- Казань, КазГАСА, 2000. С.123-126.
2. Хафизов Э.Р. Влияние вязкости битума и концентрации термоэластопласта на физико-механические показатели битума. // Сборник научных трудов.- Казань, КазГАСА, 2001. С. 86-89.
3. Хафизов Э.Р., Хабибуллина Э.Н., Брехман А.И. О некоторых свойствах асфальтобетона на битум-полимерном вяжущем. // Материалы II Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера». - Казань: КГТУ им. А.Н Туполева, 2001. С.215-217
4. Хафизов Э.Р. Улучшение качества асфальтобетона введением полимеров. // Материалы III молодежной научно-практической конференции студентов и аспирантов «Актуальные проблемы жилищно-коммунального хозяйства и социальной сферы города». // Казань, 2001. С. 15-16.
5. Хафизов Э.Р. Улучшение качества асфальтобетона введением термоэластопласта и ПАВ в битум. // Тезисы докладов IV научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Республики Татарстан. Казань, 2001. С. 176.
6. Хафизов Э.Р. Повышение качества асфальтобетона введением ТЭП и ПАВ в битум. // Сборник научных трудов. Казань, КазГАСА, 2002. С. 65-69.
7. Хафизов Э.Р. Повышение качества асфальтобетона введением термоэластопласта и ПАВ. // Сборник тезисов республиканского конкурса научных работ среди студентов и аспирантов на соискание премии им Н.И. Лобачевского. Казань, 2002. Т. II. С. 175.
8. Хафизов Э.Р. Применение ПБВ на основе смесового термоэластопласта в асфальтобетоне. // Сборник научных трудов XXXII Всероссийской научно-технической конференции. - Пенза, ПГАСА, 2003. - с. 181-186.
9. Хафизов Э.Р., Брехман А.И. Применение адгезионных ПАВ в асфальтобетоне с применением ПБВ. // Материалы III Международной научно-практической конференции «Автомобиль и техносфера». - Казань: КГТУ им. А.Н Туполева. - 2003 г. С. 225-229

Соискатель



Э.Р. Хафизов